

## **Современное состояние развития производства в области ферритовых развязывающих приборов**

Выпускаемые НИИ "Феррит-Домен" развязывающие СВЧ ферритовые развязывающие приборы (вентили, циркуляторы, переключатели) предназначены для работы от верхней части ВЧ-диапазона до коротковолновой части КВЧ диапазона от 30 МГц до 180 ГГц. [1].

Ферритовые микроволновые приборы выпускаются с использованием всех типов стандартных линий передачи: на коаксиальных, полосковых и микрополосковых линиях, на прямоугольных, круглых и сверхразмерных квазиоптических волноводах, на диэлектрических, Н- и П-образных волноводах, и др.

Важную часть номенклатуры приборов составляют микроволновые приборы на коаксиальном волноводе. НИИ "Феррит-Домен" поставляет вентили, циркуляторы, переключатели, работающие в диапазонах от 30 МГц до 50 ГГц. Уровень средней рабочей мощности коаксиальных приборов – до 150 кВт, импульсной – до 1 МВт. Лучший достигнутый уровень прямых потерь на коаксиальных вентилях и циркуляторах – 0,1 дБ.

На микрополосковой линии реализованы приборы в диапазоне частот от 200 МГц до 100 ГГц с рабочей полосой частот до 66% и прямыми потерями от 0,3 дБ, работающие со средней мощностью до 100 Вт и импульсной – до 2 кВт [1].

На прямоугольных волноводах в диапазоне от 1 до 180 ГГц созданы невзаимные ферритовые приборы, работающие в диапазоне температур от - 269° С (4° К) до +100° С и выше. К наиболее востребованным направлениям относятся волноводные быстродействующие переключатели (с быстродействием в единицы микросекунд), в том числе высокого уровня мощности.

Сегодня НИИ "Феррит-Домен" остается основным в России разработчиком и промышленным производителем новых типов микроволновых ферритовых волноводных и коаксиальных приборов высокого уровня мощности (ВУМ), в основном для аппаратуры специального назначения. Для их обеспечения их производства — это единственное в стране предприятие, обладающее технологией горячего прессования ферритов [2,3].

### **Проводимые и недавно завершённые новые разработки развязывающих приборов в коаксиальном и «drop-in» исполнении**

Ряд миниатюрных вентилях и циркуляторов среднего уровня мощности L- и S-диапазонов drop-in исполнения.

В 2014 г. завершена работа по разработке комплекта миниатюрных ферритовых полосковых вентилях и циркуляторов среднего уровня мощности L- и S- диапазонов drop-in исполнения.



Рисунок 1. Вентили и циркуляторы среднего уровня мощности L- и S- диапазонов drop-in исполнения [4]

Изделия, параметры которых приведены в таблице № 1, предназначены для использования в качестве развязывающих устройств в приемопередающих трактах РЛС обнаружения наземного, морского и воздушного базирования, в качестве развязывающих устройств в приемо-передающих трактах аппаратуры систем космической навигации (ГЛОНАСС), в том числе двойного назначения.

Отличительной чертой разрабатываемых изделий являлись обеспечение возможности использования существенно более жестких рабочих режимов по сравнению с известными аналогами. Для всех типов приборов допускается входная средняя мощность до 150 Вт, импульсная мощность до 1500 Вт.

В ходе работ, за счет проведенного совершенствования параметров, используемых ферромагнитных материалов были уменьшены прямые потери и повышена добротность (отношение развязки к вносимым потерям).

Таблица № 1[4]

Наименование параметра, единица измерения	Буквенное обозначение параметра	3-3 3-13	3-4 3-14	3-5 3-15	3-6 Ф 3-16	3-7 3-17
Рабочий диапазон частот, ГГц	$f_{н 1} - f_{в 1}$	1,25-1,55	1,0-1,1	1.0-1.55	2,7-2,9	2,9-3,1
Прямые потери, дБ,	$\alpha_{пр 1-2}$	0,3	0,15	0,5	0,3	0,3
Обратные потери, дБ,	$\alpha_{раз 2-1}$	20	25	18	20	20
$K_{стU1}$ ,	$K_{стU вх 1}$	1,3	1,1	1,5	1,3	1,3
Импульсная входная мощность, кВт	$P_{вх имп}$	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
Средняя входная мощность, кВт,	$P_{вх ср}$	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15

## Двухдиапазонный циркулятор



Рисунок 2. Двухдиапазонный циркулятор [4]

В настоящее время ведется разработка двухдиапазонного ферритового коаксиального циркулятора высокого уровня мощности. Целью разработки является создание изделий, сочетающих современный технический уровень рабочих параметров, надежность и длительные ресурсы эксплуатации, при одновременной разработке современной серийной технологии их производства. Одновременно проводится создание необходимого научно-технического задела, позволяющего применять использованные в данной работе инженерно-технические решения в качестве базовой модели для разработки этого класса изделий при решении других аналогичных задач.

Таблица № 2 [4]

Наименование параметра, единица измерения	Буквенное обозначение параметра	Норма параметра	
		не менее	не более
Режим 1: Диапазон рабочих частот, МГц нижнее значение верхнее значение	$f_{н 1}$ $f_{в 1}$	1020	1100
Режим 2: Диапазон рабочих частот, МГц	$f_{н 2}$ $f_{в 2}$	1450	1550
Прямые потери между каналами 1-2, дБ	$\alpha_{пр 1-2}$	–	0,5
Развязки между каналами 2-1, дБ	$\alpha_{раз 2-1}$	20	–
КСВН входа канал 1	$K_{стU вх 1}$	–	1,25
Входная импульсная мощность, кВт	$P_{вх имп}$	12	–
Электрогерметичность, дБ	$\mathcal{E}_г$	60	–

В результате выполнения работы будет создан двухдиапазонный циркулятор (параметры приведены в таблице № 2) высокого уровня мощности в обеспечение модернизации наземного радиолокационного запросчика (НРЗ) ЕС ГРЛО «Пароль».

## СВЧ - коммутатор

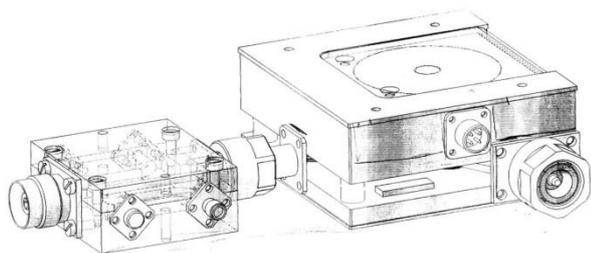


Рисунок 3. 3D модель СВЧ - коммутатора

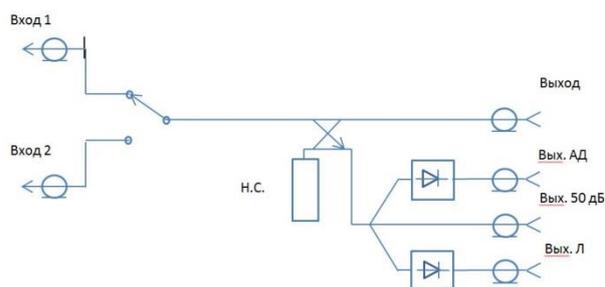


Рисунок 4. Функциональная схема СВЧ – коммутатора

Разработан ферритовый коаксиальный переключатель ВУМ в сантиметровом диапазоне длин волн, предназначенного для работы в аппаратуре спец. назначения [5].

В состав коммутатора входят:

- ответвитель выходного сигнала с коэффициентом ответвления  $50 \pm 2$  дБ;
- амплитудный детектор среднего уровня мощности с выходным напряжением не менее 2,5 В (нагрузка 100 Ом);
- пиковый детектор с амплитудой видеоимпульса не менее 0,5 В (нагрузка 50 Ом.).

Изделие предназначено для использования в качестве развязывающего и коммутирующего узла в передающей аппаратуре. Время переключения 100 мс.

Таблица № 4

Наименование параметра, единица измерения	Буквенное обозначение параметра	Значение параметра	Электрические параметры коммутатора
Рабочий диапазон частот, ГГц		~ 3	
Прямые потери между каналами 1-2, дБ	$\alpha_{пр 1-2}$	0,4	
Развязки между каналами 2-1, дБ	$\alpha_{раз 2-1}$	26	
КСВН входа	$K_{стU вх 1}$	1,25	

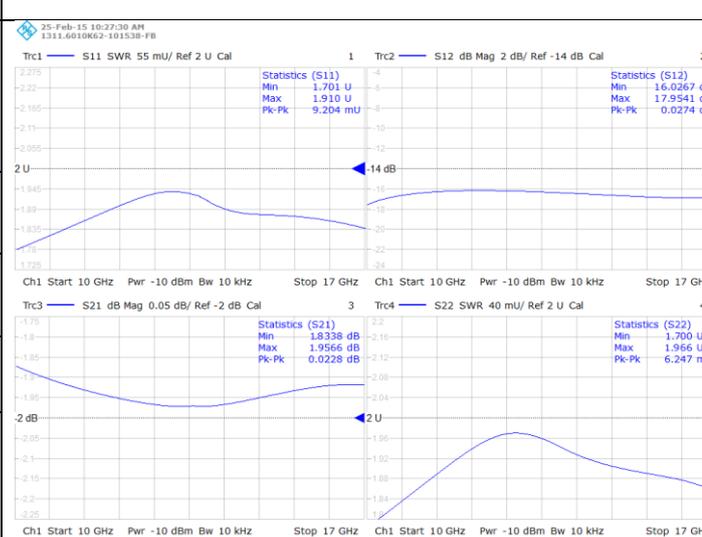
## Сверхширокополосные приборы



Рисунок 5. Сверхширокополосные приборы [4]

Изготавливаются сверхширокополосные [6] (с шириной рабочей полосы октава и более) коаксиальные ферритовые приборы в диапазоне частот до 40 ГГц.

Таблица № 5

Наименование параметра, единица измерения	Буквенное обозначение параметра	3ICS - 13	4 ICS-30	Электрические параметры 4 ICS -13 
Рабочий диапазон частот, ГГц	$f_{Н1} - f_{В1}$	8,0-18,0	20,0-40,0	
Прямые потери, дБ,	$\alpha_{пр1-2}$	2	2	
Обратные потери, дБ,	$\alpha_{раз2-1}$	15	14	
$K_{сгв1}$ ,	$K_{сгУвх1}$	2	2	
Средняя входная мощность, Вт	$P_{вх\ ср}$	5	5	

### Приборы высокой и сверхвысокой мощности

Разработаны резонансные коаксиальные приборы высокого и сверхвысокого уровня мощности (средней мощности до 150 кВт, импульсной – до 1 МВт) с автоматической подстройкой КСВн для улучшения параметров в динамически меняющемся диапазоне мощности передатчика с помощью обратной связи (изменение постоянного магнитного поля подмагничивающих магнитов) [5].

Для обеспечения аварийной надежности системы созданы приборы со встроенным датчиком отраженной мощности (амплитудный детектор) с выводом значения напряжения на низкочастотный разъем.

## **Тенденции дальнейшего развития направления коаксиальных и полосковых ферритовых развязывающих приборов**

На основании анализа потенциальных потребностей предприятий – потребителей рассматриваемых приборов можно обобщенно следующие тенденции в технических требованиях к приборам:

- Уменьшение массогабаритных размеров за счет применения легких композитных материалов.
- Увеличение средней и импульсной мощности.
- Снижение вносимых потерь.
- Увеличение развязок.
- Увеличение ширины рабочей полосы.
- Уменьшение срока проведения разработки и начала поставок по вновь утвержденным (откорректированным в результате проведенной модернизации) техническим условиям. Как правило, необходимо чтобы этот срок не превышал 6 месяцев и даже меньше.

### Библиографический список

1. Лебедь Б, Милевский Н, Петров В., Яковлев Ю. Магнитоэлектронные приборы ОАО «НИИ «Феррит-Домен». // Электроника: Наука, Технология, Бизнес. Элементная База Электроник. 2/2008 г
2. Ситедзе Ю., Сато Х. Ферриты. // Издательство «Мир». Москва 1964,–407с
3. Лакс Б., Баттон К. Сверхвысокочастотные ферриты и ферритмагнетики. // Издательство «Мир». 1965, – 659с.
4. Каталог продукции фирмы ОАО «НИИ «Феррит-Домен» <http://www.domen.ru/>
5. David M. Pozar. Microwave Engineering. // Wley.—4th ed. 2011, –756.
6. Маршалов Д. А., Кольцов Н. Е. Широкополосные усилительно-преобразовательные устройства для радиоастрономических приёмников. // Тр.ИПА РАН, 2007. – Вып. 16. – С. 245.